Р. М. Малинин



Полупроводниковые выпрямители



ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Справочная серия

Выпуск 486

Р. М. МАЛИНИН

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ВЫПРЯМИТЕЛИ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

МОСКВА 1963 ЛЕНИНГРАД

УДК 621.314.63(033)
М 19

В брошюре, рассчитанной на широкий круг радиолюбителей-конструкторов, рассмотрены наиболее распространенные в радиолюбительской практике схемы выпрямителей на полупроводниковых диодах, даны рекомендации по выбору элементов таких выпрямителей, приведены примеры расчета.

СОДЕРЖАНИЕ

Малинин Роман Михайлович
Полупроводниковые выпрямители. М.—Л., Госэнергоиздат, 1963.
24 стр. с илл. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 486)

Редактор *В. А. Бурлянд* Техн. редактор *Н. А. Бульдяев*
Обложка художника *А. М. Кувшинникова*

Сдано в пр-во 16/V 1963 г. Подписано к печати 13/VIII 1963 г.
Т-09034 Формат бумаги 84×108 1/32 1,23 печ. л. Уч.-изд. л. 1,5
Тираж 100 000 экз. Цена 06 коп. Заказ 828

Типография № 1 Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.
Отпечатано с набора в типографии № 4 Госстройиздата,
г. Подольск, ул. Кирова, 25.

ВВЕДЕНИЕ

Питание радиоаппаратуры от электросети переменного тока является наиболее экономичным, удобным и надежным способом электропитания При этом электронные лампы аппаратуры, как правило, получают для накала переменный ток через понижающий трансформатор, а для питания цепей анода, сеток ламп и всех цепей транзисторов переменный ток преобразуют в пульсирующий (ток постоянного направления, периодически изменяющийся по величине), уменьшая затем пульсации тока до столь малой величины, что он не создает заметных помех (фона) в громкоговорителе, телефоне, на экране кинескопа и т. п.

Процесс преобразования переменного тока в пульсирующий называется **выпрямлением** и осуществляется **выпрямителями**, а процесс уменьшения пульсаций называется **сглаживанием** пульсаций и осуществляется **сглаживающими фильтрами**. Выпрямителем часто называют весь комплекс, в который входит как собственно выпрямитель, так и сглаживающий фильтр.

Основными частями выпрямителей являются **электрические вентили** — приборы, обладающие односторонней проводимостью, т. е. хорошо пропускающие ток в одном направлении и не пропускающие ток или плохо пропускающие его в другом.

Для питания радиоприемной и усилительной аппаратуры в настоящее время широко применяются **полупроводниковые выпрямители**, т. е. выпрямители, в которых в качестве вентилей используются полупроводниковые диоды (германиевые и кремниевые). В большинстве случаев в таких выпрямителях применяют плоскостные диоды, однако, когда от выпрямителей требуются напряжения не свыше нескольких десятков вольт при токах до 10—20 *ма*, возможно использование и точечных диодов (в выпрямителях смещения на управляющие сетки ламп, в выпрямителях питания аппаратуры на маломощных транзисторах и т. п.).

Германиевые диоды применяют в тех случаях, когда температура внутри аппаратуры не превышает +50° С (в крайнем случае +70° С). Кремниевые диоды могут работать при температурах до 120° С (за исключением диодов Д226, работоспособность которых заводы-изготовители гарантируют только до +80° С). Следует отметить, что в настоящее время наметилась тенденция к замене германиевых диодов кремниевыми при работе в любых температурных условиях.

По сравнению с кенотронными полупроводниковые выпрямители обладают более высоким к. п. д. и поэтому более экономичны, имеют меньшие размеры, выделяют при работе меньше тепла. Средний срок службы полупроводниковых диодов во много раз больше, чем кенотронов.

В состав выпрямителя обычно входит трансформатор питания (силовой трансформатор), со вторичной обмотки которого напряжение подается на вентили, или автотрансформатор. Наличие трансформатора или автотрансформатора в выпрямителе обязательно, когда выпрямленное напряжение существенно больше или меньше напряжения электросети.

Необходимо иметь в виду, что ни одна из цепей бестрансформаторного выпрямителя или питаемой им аппаратуры не должна иметь соединения с землей. Несоблюдение этого условия может привести к их повреждению или к перегоранию предохранителей электросети.

ОБОЗНАЧЕНИЯ ВЕЛИЧИН

b — минимальная толщина теплоотвода, *мм*.

C_0 — емкость конденсатора на входе сглаживающего фильтра, *мкф*.

$C_ф$ — емкость конденсатора на выходе сглаживающего фильтра, *мкф*.

d — минимальное расстояние между соседними диодами на теплоотводе и от диода до края теплоотвода, *мм*.

I_0 — выпрямленный ток (постоянная составляющая тока в нагрузке выпрямителя), *ма*.

$I_д$ — предельно допустимый выпрямленный ток, который можно получить от выпрямителя с диодами данного типа, *ма*.

I_{II} — действующее значение тока вторичной обмотки трансформатора питания, включенной на вентили, или выходной ток автотрансформатора; для бестрансформаторного выпрямителя — действующее значение тока, потребляемого им от питающей электросети, *ма*.

n — число последовательно соединенных вентилей (диодов) в каждом плече схемы выпрямителя.

$R_ш$ — сопротивление, включенное параллельно диоду, *ком*.

$R_б$ — сопротивление, включенное последовательно с диодами, *ом*.

$r_ф$ — сопротивление сглаживающего фильтра постоянному току (обмотка дросселя или заменяющее его сопротивление), *ом*.

S — наименьшая площадь теплоотвода в расчете на один диод, *см²*.

$t_{макс}$ — наибольшая установившаяся температура внутри выпрямителя (аппаратуры), °С.

p_{50} — допустимое отношение амплитуды переменной составляющей напряжения с основной частотой 50 *гц* на конденсаторе к его номинальному напряжению, %.

p_{100} — то же с основной частотой 100 *гц*, %.

p_0 — коэффициент пульсации напряжения на входе сглаживающего фильтра (отношение амплитуды переменной составляющей этого напряжения к его постоянной составляющей), %.

U_0 — постоянная составляющая напряжения на входе сглаживающего фильтра, *в*.

$U_н$ — постоянная составляющая напряжения на выходных зажимах выпрямителя (на нагрузке), *в*.

$U_{х.х}$ — напряжение холостого хода выпрямителя (U_0 и $U_н$ при отключенной нагрузке), *в*.

U_C — номинальное напряжение конденсатора, *в*.

U_{II} — действующее значение подаваемого на вентили переменного напряжения (напряжение вторичной обмотки нагруженного трансформатора питания, выходное напряжение нагруженного автотрансформатора питания или номинальное напряжение электросети для бестрансформаторного выпрямителя), *в*.

$U_д$ — предельно допустимое подаваемое на вентили переменное напряжение (действующее значение) при наличии в каждом плече одного диода данного типа, *в*.

СХЕМЫ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ

Наиболее распространенные схемы полупроводниковых выпрямителей приведены на рис. 1—4.

Вентиль или группа вентилей, включенная в схему выпрямителя только двумя точками, одна из которых присоединена к источнику переменного тока (к обмотке трансформатора, автотрансформатора или непосредственно к электросети), а другая является одним из полюсов выпрямленного напряжения, образуют п л е ч о выпрямительной схемы.

Однополупериодный выпрямитель (рис. 1). По этой схеме обычно выполняют выпрямители, от которых требуется небольшой ток (не более нескольких десятков миллиампер), например выпрямители сеточного смещения, выпрямители для питания приемников на маломощных транзисторах и др.

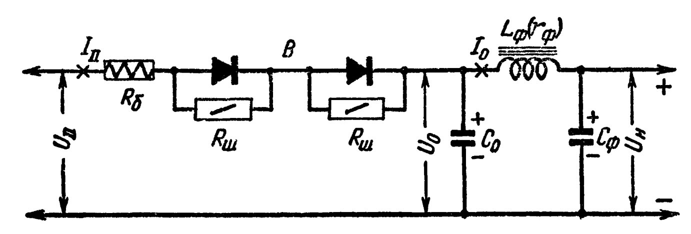


Рис. 1. Схема однополупериодного выпрямителя.

Во время полупериодов одного знака питающего переменного напряжения через диоды проходят импульсы тока, заряжающие конденсатор C_0. Во время полупериодов обратного знака ток через диоды (обратный ток) и шунтирующие их сопротивления $R_ш$ настолько мал, что он практически не разряжает конденсатора. Разряд конденсатора происходит через дроссель сглаживающего фильтра $L_ф$ и нагрузку, которая подключается к точкам, обозначенным на схеме знаками + и —. Каждый последующий импульс прямого тока через диоды восполняет запас энергии конденсатора C_0.

Основная частота пульсации выпрямленного напряжения в этой схеме равна частоте питающего переменного тока.

Двухполупериодный выпрямитель по мостовой схеме (рис. 2). Это наиболее распространенная схема полупроводникового выпрямителя. Во время полупериодов подводимого напряжения одного знака конденсатор C_0 заряжается импульсами тока, проходящими

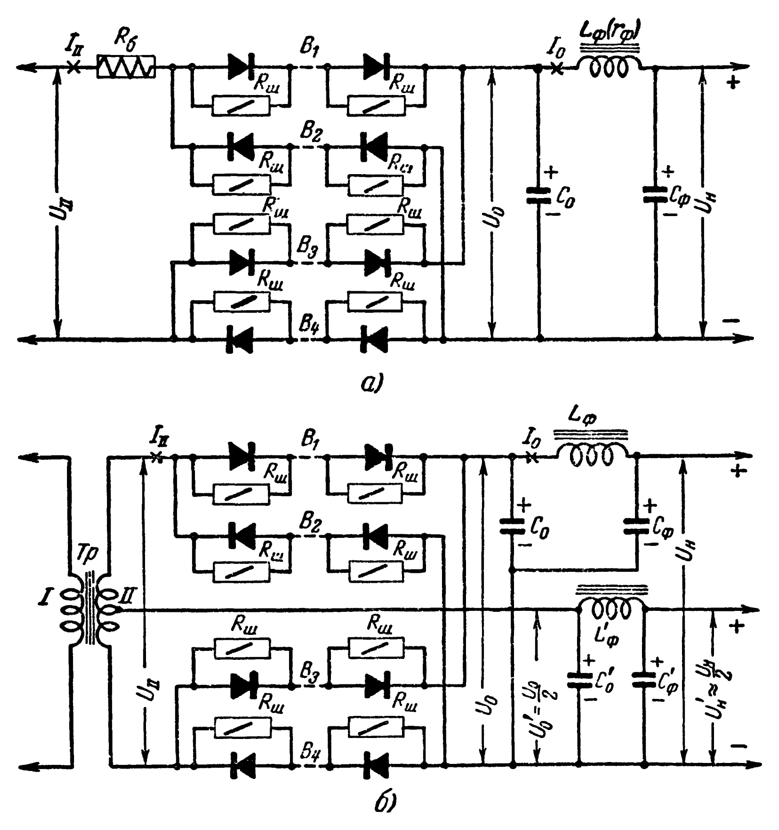


Рис. 2. Схемы двухполупериодных мостовых выпрямителей на одно (*а*) и два (*б*) выходных напряжения.

через группы вентилей (плечи) B_1 и B_4; обратный ток через диоды в плечах B_2 и B_3 в это время очень мал. Во время полупериодов противоположного знака конденсатор C_0 заряжается импульсами прямого тока, проходящими через диоды в плечах B_3 и B_2.

Основная частота пульсации выпрямленного напряжения в этой схеме в 2 раза больше частоты напряжения в питающей сети (100 *гц* при частоте сети 50 *гц*).

Если применить в таком выпрямителе трансформатор с отводом от средней точки его вторичной обмотки *II* и добавить в схему конденсатор C'_0 (рис. 2,*б*), то выпрямитель будет давать два напряжения; напряжение на конденсаторе C'_0 будет примерно в 2 раза меньше, чем на конденсаторе C_0.

Выпрямители с удвоением выпрямленного напряжения (рис. 3 и 4). Выпрямители эти применяют обычно в тех случаях, когда без

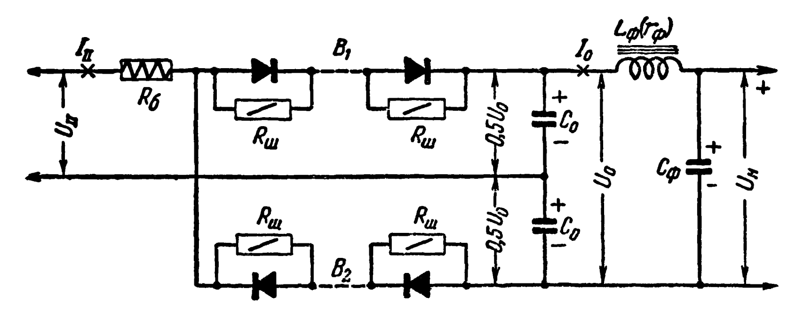


Рис. 3. Схема двухполупериодного выпрямителя с удвоением напряжения.

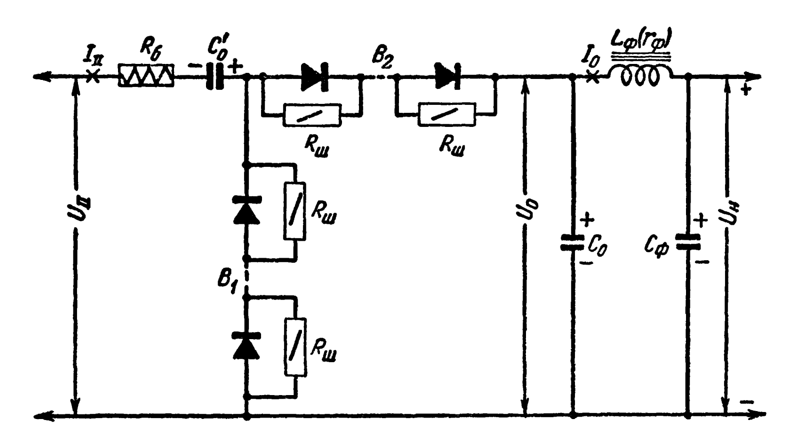


Рис. 4. Схема однополупериодного выпрямителя с удвоением напряжения.

трансформатора нужно получить выпрямленное напряжение примерно в 2 раза большей величины по сравнению с напряжением источника питания (электросети).

В схеме на рис. 3 двухполупериодного выпрямителя во время полупериодов подводимого напряжения одного знака заряжается верхний конденсатор C_0 прямым током через диоды плеча B_1, а во время полупериодов противоположного знака заряжается нижний конденсатор C_0 импульсами прямого тока, проходящими через дио-

ды плеча B_2. Так как эти конденсаторы по отношению к нагрузке выпрямителя соединены последовательно, на ней получается удвоенное напряжение. С любого из этих конденсаторов можно получить выпрямленное напряжение, равное половине общего напряжения.

В схеме однополупериодного выпрямителя (рис. 4) во время полупериодов питающего напряжения одного знака импульсы прямого тока проходят через диоды в плече B_1, заряжая конденсатор C'_0. Во время полупериодов другого знака на диоды плеча B_2 поступает напряжение, равное сумме подводимого напряжения и напряжения на конденсаторе C'_0. Возникающие от действия этого суммарного напряжения импульсы прямого тока через вентили (диоды) плеча B_2 заряжают конденсатор C_0 до напряжения примерно вдвое большей величины по сравнению с напряжением на конденсаторе C'_0.

Основная частота пульсации выпрямленного напряжения в схеме на рис. 3 вдвое больше частоты питающей сети, а в схеме на рис. 4 равна частоте сети.

Конденсаторы. Конденсатор, на котором постоянная составляющая выпрямленного напряжения не превышает 400 *в*, может быть электролитическим. При бо́льших напряжениях используют бумажные или металлобумажные конденсаторы, поскольку электролитические конденсаторы на такие напряжения не изготовляются.

Переменная составляющая напряжения на конденсаторе C_0 (пульсация) не должна превышать некоторой величины. При большей переменной составляющей конденсатор перегревается. Особенно опасен перегрев электролитического конденсатора (иногда он может привести к взрыву конденсатора).

Для наиболее распространенных электролитических конденсаторов типов КЭ-1-Н, КЭ-1-М, КЭ-2-Н и КЭ-2-М в схемах на рис. 1 3 и 4 допустимы переменные составляющие не более 4—15%, а в схеме на рис. 2 — не более 2—8% от номинальных напряжений конденсаторов. Чем больше номинальное напряжение и емкость конденсатора, тем меньше допустимое отношение переменной составляющей к номинальному напряжению.

Для электролитических конденсаторов типов КЭ-1-ПМ КЭ-1-ОМ, КЭ-2-ПМ и КЭ-2-ОМ при тех же номинальных напряжениях и емкостях допустимы в 1,5 раза бо́льшие переменные составляющие.

Для металлобумажных и бумажных конденсаторов любых номинальных напряжений и емкостей в схемах на рис. 1, 3 и 4 допустима переменная составляющая 20%, а в схеме на рис. 2 — 15% от их номинальных напряжений.

Дроссель фильтра $L_ф$ (или заменяющее его сопротивление) может быть включен в провод как с положительным, так и с отрицательным знаком выпрямленного напряжения.

Сопротивления $R_ш$ необходимы для улучшения равномерности распределения обратного напряжения между последовательно соединенными диодами в каждом плече схемы выпрямителя. Все сопротивления в данной схеме должны иметь одинаковую номинальную величину с отклонением от нее не более ±10%.

Номинальная мощность этих сопротивлений в большинстве случаев 0,25 *вт*.

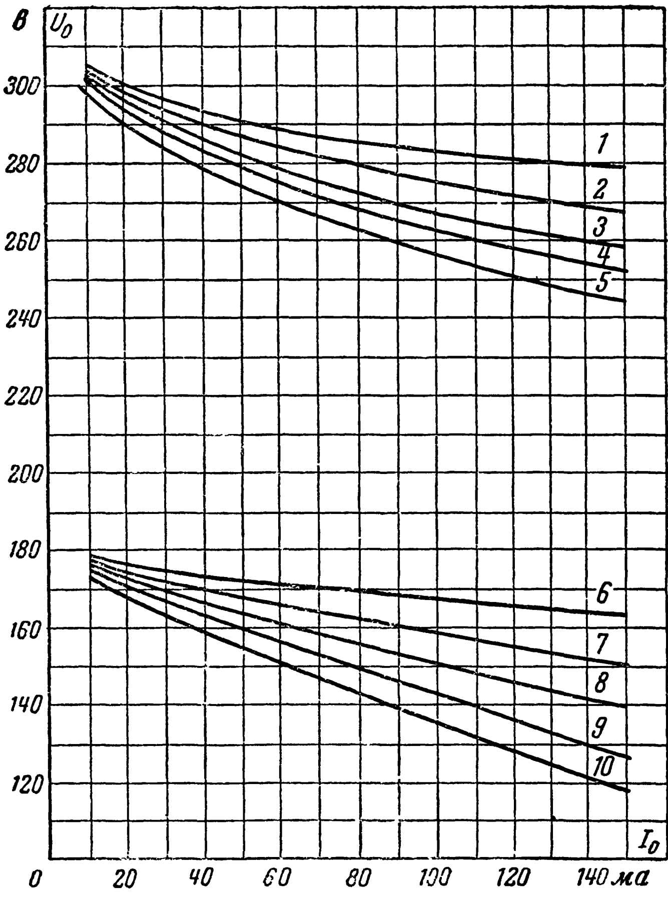


Рис. 5. Усредненные нагрузочные характеристики однополупериодных бестрансформаторных выпрямителей.

1 — U_{11} = 220 *в*, 4 диода Д7Д, C_0 = 120 *мкф*, $R_б$ = 3,9 *ом*; *2* — U_{11} = = 220 *в*, 4 диода Д7Д, C_0 = 40 *мкф*, $R_б$ = 3,9 *ом*; *3* — U_{11} = 220 *в*, 4 диода Д7Д, C_0 = 20 *мкф*, $R_б$ = 3,9 *ом*; *4* — U_{11} = 220 *в*, 4 диода Д7Д, C_0 = 120 *мкф*, $R_б$ = 39 *ом*; *5* — U_{11} = 220 *в*, 4 диода Д7Д, C_0 = =40 *мкф*, $R_б$ = 39 *ом*; *6* — U_{11}=127 *в*, 2 диода Д7Ж, C_0=120 *мкф*, $R_б$= = 3,9 *ом*; *7* - U_{11} = 127 *в*, 2 диода Д7Ж, C_0 = 40 *мкф*, $R_б$ = 3,9 *ом*; *8* — U_{11} = 127 *в*, 2 диода Д7Ж, C_0 = 120 *мкф*, $R_б$ = 39 *ом*; *9* — U_{11} = = 127 *в*, 2 диода Д7Ж, C_0 = 20 *мкф*, $R_б$ = 3,9 *ом*; *10* — U_{11} = 127 *в*, 2 диода Д7Ж, C_0 = 20 *мкф*, $R_б$ = 39 *ом*.

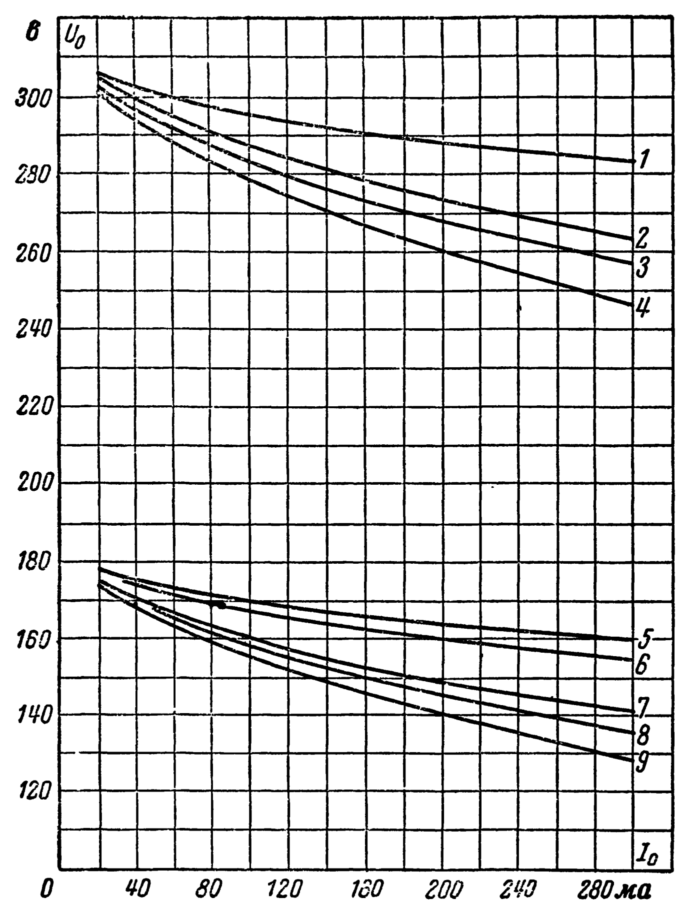


Рис. 6. Усредненные нагрузочные характеристики бестрансформаторных выпрямителей по мостовой схеме.

1—$U_{II} = 220$ *в*, 4×2 диода Д7Д, $C_0 = 120$ *мкф*, $R_б = 3{,}9$ *ом*; *2*—$U_{II} = 220$ *в*, 4×2 диода Д7Д, $C_0 = 20$ *мкф*, $R_б = 3{,}9$ *ом*; *3*—$U_{II} = 220$ *в*. 4×2 диода Д7Д, $C_0 = 120$ *мкф*, $R_б = 39$ *ом*; *4*—$U_{II} = 220$ *в*, 4×2 диода Д7Д, $C_0 = 20$ *мкф*, $R_б = 39$ *ом*; *5*—$U_{II} = 127$ *в*, 4×1 диод Д7Ж, $C_0 = 120$ *мкф*, $R_б = 3{,}3$ *ом*; *6*—$U_{II} = 127$ *в*, 4×1 диода Д7Ж, $C_0 = 40$ *мкф*; $R_б = 3{,}3$ *ом*; *7*—$U_{II} = 127$ *в*, 4×1 диод Д7Ж, $C_0 = 20$ *мкф*, $R_б = 3{,}3$ *ом*: *8*—$U_{II} = 127$ *в*, 4×1 диод Д7Ж, $C_0 = 120$ *мкф*, $R_б = 39$ *ом*; *9*—$U_{II} = 127$ *в*, 4×1 диод Д7Е или Д7Ж, $C_0 = 20$ *мкф*, $R_б = 39$ *ом*.

Если этих сопротивлений в схеме с несколькими диодами в плече не будет, то напряжение на диодах, имеющих большее обратное сопротивление (меньший обратный ток) по сравнению с другими, может достигнуть величины пробивного, тогда диоды выйдут из строя.

При одном диоде в каждом плече сопротивления $R_ш$ не нужны. Последовательное включение точечных диодов не применяют.

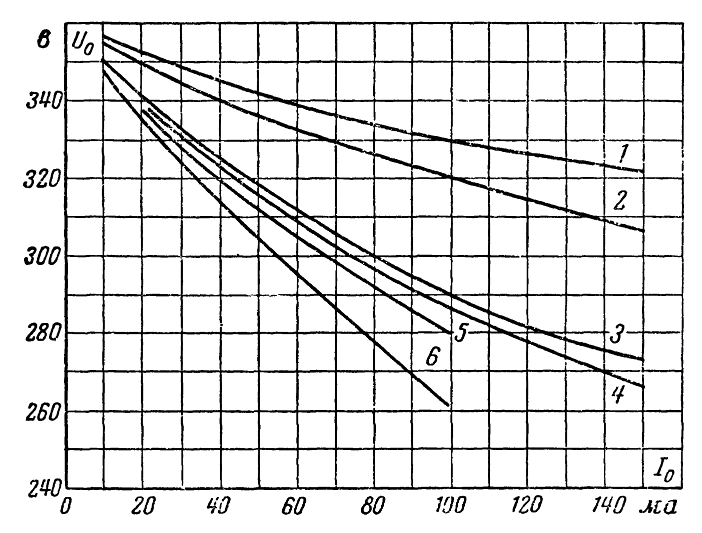


Рис. 7. Усредненные нагрузочные характеристики бестрансформаторных двухполупериодных выпрямителей с удвоением напряжения при $U_{II} = 127$ *в* и двух диодах Д7Ж в каждом плече.

1 — $C_0 = 120$ *мкф*; $R_б = 3,9$ *ом*; *2* — $C_0 = 40$ *мкф*, $R_б = 3,9$ *ом*; *3* — $C_0 = 120$ *мкф*, $R_б = 39$ *ом*; *4* — $C_0 = 40$ *мкф*, $R_б = 39$ *ом*; *5* — $C_0 = 20$ *мкф*, $R_б = 3,9$ *ом*; *6* — $C_0 = 20$ *мкф*, $R_б = 39$ *ом*.

Сопротивление $R_б$ **служит** для ограничения импульсов тока, заряжающих конденсаторы через диоды при включении выпрямителя в электросеть. В схемах с плоскостными диодами сопротивление $R_б$ обычно имеет величину порядка 2—40 *ом*, а в схемах с точечными диодами 0—100 *ом*. В. схемах с трансформаторами и плоскостными диодами сопротивление $R_б$ обычно не ставится, так как в этом случае величина тока ограничивается активным сопротивлением обмоток трансформатора.

Нагрузочные характеристики выпрямителей по разным схемам с типовыми полупроводниковыми диодами, т. е. кривые, показывающие зависимость величины выпрямленного напряжения от величины выпрямленного тока для разных подводимых переменных напряжений, приведены на рис. 5—8.

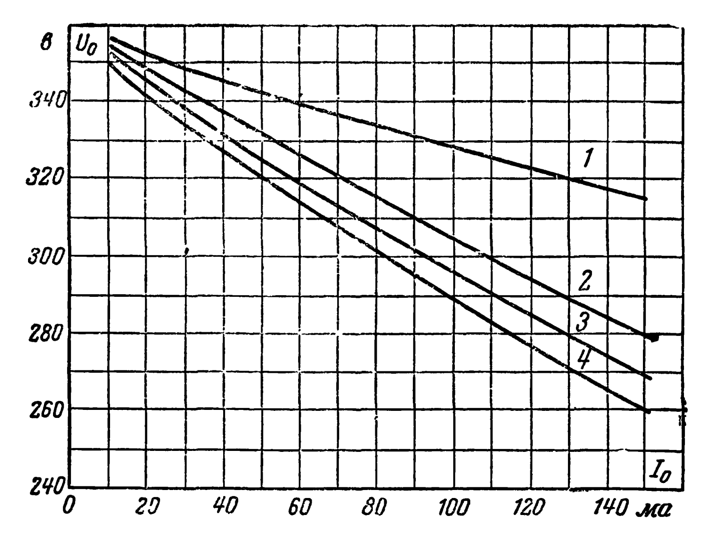


Рис. 8. Усредненные нагрузочные характеристики бестрансформаторных однополупериодных выпрямителей с удвоением напряжения при $U_{\text{II}} = 127$ *в* и двух диодах Д7Ж в в каждом плече.

1 — $C_0 = C'_0 = 120$ *мкф*, $R_б = 3{,}9$ *ом*; *2* — $C_0 = C'_0 = 40$ *мкф*, $R_б = 3{,}9$ *ом*; *3* — $C_0 = C'_0 = 120$ *мкф*, $R_б = 39$ *ом*; *4* — $C_0 = C'_0 = 40$ *мкф*, $R_б = 39$ *ом*.

РАСЧЕТ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ

Первый вариант. Требуется рассчитать выпрямитель с заданным напряжением U_0 или $U_н$ и током I_0, получив в том числе исходные данные для расчета трансформатора или автотрансформатора питания.

1. Если задано напряжение на выходе фильтра (на нагрузке) $U_н$, то выбираем ориентировочно величину сопротивления фильтра постоянному току $r_ф$ и по формуле (11) из табл. 1 вычисляем напряжение на входе фильтра U_0.

2. Вычисляем по формуле (1) напряжение U_{II}.

3. По формуле (4) находим наименьшее рабочее напряжение конденсатора C_0 (и C'_0 для схемы на рис. 4) и принимаем ближайшее большее стандартное номинальное напряжение U_C (или равное вычисленному, если оно совпадает по величине со стандартным номинальным напряжением).

4. По формуле (7) вычисляем минимально необходимую емкость конденсатора C_0 (и C'_0 для схемы на рис. 4)*. При исполь-

* Численные коэффициенты в формулах (7) учитывают, что фактическая емкость конденсатора может быть на 20% меньше обозначенной на нем номинальной емкости (допускается Государственными стандаратами на конденсаторы электролитические и металлобумажные).

Таблица 1

Формулы для расчета выпрямителей на полупроводниковых диодах

Величина	По схеме на рис. 1	По схеме на рис. 2	По схеме на рис. 3	По схеме на рис. 4	Номер формулы
U_{II}, *в*	$(0{,}75 \div 0{,}9)U_0$		$(0{,}4 \div 0{,}45)U_0$		(1)[2]
U_0, *в*	$(1{,}1 \div 1{,}35)U_{II}$		$(2{,}2 \div 2{,}5)U_{II}$		(2)[2]
$U_{x.x}$, *в*	$1{,}41U_{II}$		$2{,}82U_{II}$		(3)
U_C (не менее), *в*	$1{,}41U_{II}$		$1{,}41U_{II}$	$2{,}82U_{II}$[1]	(4)
I_{II} (около), *ма*	$2{,}6I_0$	$1{,}8I_0$	$3{,}6I_0$		(5)[2]
I_0 (около), *ма*	$0{,}4I_{II}$	$0{,}6I_{II}$	$0{,}3I_{II}$		(6)[2]
C_0 (не менее), *мкф*	$900\frac{I_0}{U_C p_{50}}$	$400\frac{I_0}{U_C p_{100}}$	$900\frac{I_0}{U_C p_{50}}$		(7)[3]
C_0 (не менее), *мкф*	$750\frac{I_0}{U_0 p_0}$	$320\frac{I_0}{U_0 p_0}$	$650\frac{I_0}{U_0 p_0}$	$750\frac{I_0}{U_0 p_0}$	(8)[4]

[1] Номинальное напряжение конденсатора C'_0 в схеме, показанной на рис. 4 вычисляют по формуле (4) для схемы на рис. 3.

[2] Формулы (1), (2), (5) и (6) служат для вычисления приближенных значений напряжений и токов; последние зависят от индивидуальных электрических характеристик примененных диодов и емкости C_0. При данных U_{II} и C_0 чем больше I_0, тем меньше U_0.

[3] Формула для вычисления емкости конденсатора C_0 (и конденсатора C'_0 в схеме на рис. 4), при которой амплитуда переменной составляющей напряжения на нем не превышает предельно допустимой величины.

[4] Формула для вычисления емкости конденсатора C_0, необходимой для получения на входе сглаживающего фильтра выпрямленного напряжения с коэффициентом пульсации p_0 не более заданного.

Величина	По схеме на рис. 1	По схеме на рис. 2	По схеме на рис. 3	По схеме на рис. 4	Номер формулы
p_0 (около), %	$750\frac{I_0}{U_0C_0}$	$320\frac{I_0}{U_0C_0}$	$650\frac{I_0}{U_0C_0}$	$750\frac{I_0}{U_0C_0}$	(9)
n (не менее), шт.	$\frac{U_{\text{II}}}{U_{\text{д}}}$				(10)
U_0, *в*	$U_{\text{н}}+\frac{r_{\text{ф}}I_0}{1\,000}$				(11)
$U_{\text{н}}$, *в*	$U_0-\frac{r_{\text{ф}}I_0}{1\,000}$				(12)
$r_{\text{ф}}$, *ом*	$\frac{1\,000(U_0-U_{\text{н}})}{I_0}$				(13)

зовании электролитических конденсаторов необходимую для подстановки в формулу (7) величину p_{50} или p_{100} выбираем предварительно по табл. 2. Если для данного номинального напряжения в таблице имеется несколько значений p_{50} или p_{100}, то берем наибольшее (или среднее) значение. Для конденсаторов КЭ-1ПМ, КЭ-1ОМ, КЭ-2ПМ и КЭ-2ОМ величины p_{50} и p_{100} могут быть в 1,5 раза больше указанных в табл. 2. Для металлобумажных и бумажных конденсаторов всех номинальных напряжений и емкостей $p_{50}=20\%$ и $p_{100}=15\%$.

Выбираем номинальную стандартную емкость, ближайшую большую к вычисленной по формуле (7), или принимаем вычисленную, если она совпадает со стандартной величиной. Если окажется, что эта емкость входит в группу, для которой согласно табл. 2 p_{50} или p_{100} иное, чем предварительно выбранное, то следует вторично вычислить емкость по формуле (7), но подставив в нее новое значение p_{50} или p_{100}. Округляя и этот полученный по формуле (7) результат до ближайшей большей стандаратной емкости, получим новую ее величину.

5. Если задан коэффициент пульсации p_0, то вычисляем емкость C_0 по формуле (8) и округляем полученный результат. Окончательно принимаем наибольшую емкость C_0 из вычисленных по формулам (7) и (8).

6. Вычисляем по формуле (9) для конденсатора выбранной емкости коэффициент пульсации p_0.

7. По табл. 3 или 4 выбираем тип диода, удовлетворяющего условиям $I_{\text{д}}\geqslant I_0$ и $U_{\text{п}}\geqslant U_0$ при требуемом температурном режиме. Если $U_{\text{II}}\geqslant U_{\text{д}}$ для всех типов диодов, то находим требуемое число n последовательно соединенных диодов выбранного типа в каж-

Таблица 2

Предельно допустимые отношения переменной составляющей к постоянному номинальному напряжению для электролитических конденсаторов КЭ-1-Н, КЭ-1-М, КЭ-2-Н и КЭ-2-М

Номинальные значения		p_{50}, %	p_{100}, %
U_C, *в*	C_0 или C'_0, *мкф*		
8	50, 100 200, 500, 1 000, 2 000	10 5	5 2,5
12	10 30, 50, 100 200, 500, 1 000, 2 000	15 10 5	7,5 5 2,5
20	10, 20 30, 50, 100 200, 500, 1 000, 2 000	15 10 5	7,5 5 2,5
30	10, 20 30, 50, 100 200, 500	15 10 5	7,5 5 2,5
50	10, 20 30, 50, 100	15 10	7,5 5
150	10, 20 30	10 6	5 3
200	150*	4	2
300	5, 10, 20 30 120*, 150*	10 6 5	5 3 2,5
450	5, 10, 20 40 80*	10 6 5	5 3 2,5

* Только типа КЭ-2-Н.

дом плече схемы по формуле (10) [1]. Дробное число *n* округляем до ближайшего большего целого числа.

[1] Приводимые в табл. 3 величины $U_д$ выбраны с учетом вероятной неравномерности распределения обратного напряжения между соединенными последовательно диодами (шунтированными сопротивлениями $R_ш$) и возможности увеличения напряжения питающей электросети на 10% выше номинального. В схемах, содержащих по одному диоду в плече, величины $U_д$ можно брать на 10% выше указанных в таблице.

Таблица 3

Предельно допустимые режимы работы выпрямителей, содержащих по одному плоскостному диоду в плече

Тип диода	$t_{макс}$, °C	Для схем на рис. 1, 3 и 4		Для схем на рис. 2		$R_ш$, *ком* (и тип сопротивления)
		$U_д$, *в*	$I_д$, *ма*	$U_д$, *в*	$I_д$, *ма*	
Германиевые маломощные диоды						
Д7А	50 70	10 8	150 100	20 16	300 200	5,6—6,8 (ВС-0,25) 1,5—1,8 (ВС-0,25)
Д7Б	50 70	22 14	150 100	45 28	300 200	12—15 (ВС-0,25) 2,2—2,7 (ВС-0,5)
Д7В	50 70	30 20	150 100	60 40	300 200	18—22 (ВС-0,25) 2,7—3,3 (ВС-0,5)
Д7Г	50 70	40 27	150 100	80 55	300 200	27—33 (ВС-0,25) 3,9—4,7 (ВС-1)
Д7Д	50 70	55 35	150 100	110 70	300 200	47—56 (ВС-0,25) 5,6—6,8 (ВС-1)
Д7Е	50 70	60 38	150 100	120 75	300 200	56—68 (ВС-0,25) 6,8—8,2 (ВС-1)
Д7Ж	50 70	65 40	150 100	130 80	300 200	68—75 (ВС-0,25) 8,2—10 (ВС-1)
ДГ-Ц21	50	9 11	150 100	18 22	300 200	4,7—6,8 (ВС-0,25)
ДГ-Ц22	50	20 25	150 100	40 50	300 200	10—12 (ВС-0,25)
ДГ-Ц23	50	26 30	150 100	52 60	300 200	15—18 (ВС-0,25)
ДГ-Ц24	50	35 40	150 100	70 80	300 200	22—27 (ВС-0,25)
ДГ-Ц25	50	40 45	100 50	80 90	200 100	33—39 (ВС-0,25)
ДГ Ц26	50	45 50	100 50	90 100	200 100	39—47 (ВС-0,25)
ДГ-Ц27	50	55 60	100 50	110 120	200 100	56—68 (ВС-0,25)

Тип диода	$t_{макс}$, °C	Для схем на рис. 1, 3 и 4		Для схем на рис. 2		$R_ш$, *ком* (и тип сопротивления)
		$U_д$, *в*	$I_д$, *ма*	$U_д$, *в*	$I_д$, *ма*	
Кремниевые маломощные диоды						
Д202	120	30	200 (50)*	60	400 (100)*	56—68 (МЛТ-0,25, ВС-0,25 до 80° С)
Д203	120	60	200 (50)*	120	400 (100)*	100—120 (МЛТ-0,5, ВС-0,25 до 70° С)
Д204	120	85	200 (50)*	170	400 (100)*	180—220 (МЛТ-0,5, ВС-0,25 до 50° С)
Д205	120	110	200 (50)*	220	400 (100)*	240—270 (МЛТ-1, МЛТ-0,5 до 100° С)
Д206	120	30	50	60	100	56—68 (МЛТ-0,25, ВС-0,25 до 80° С)
Д207	120	60	50	120	100	100—120 (МЛТ-0,5, ВС-0,25 до 70° С)
Д208	120	85	50	170	100	180—220 (МЛТ-0,5, ВС-0,25 до 50° С)
Д209	120	110	50	220	100	240—270 (МЛТ-1, МЛТ-0,5 до 100° С)
Д210	120	135	50	270	100	300—330 (МЛТ-1, МЛТ-0,5 до 80° С)
Д211	120	160	50	320	100	360—390 (МЛТ-1, МЛТ-0,5 до 70° С)
Д226	80	110	150	220	300	150—180 (МЛТ-0,5, ВС-0,5 до 50° С)
Д226А,	80	75	150	150	300	120—150 (МЛТ-0,5, ВС-0,5 до 60°С)
Германиевые диоды средней мощности						
Д302	50 70	35 15	500 400	70 30	1 000 800	12—15 (ВС-0,5) 10—15 (ВС-0,25)

Тип диода	$t_{макс}$, °C	Для схем на рис. 1, 3 и 4		Для схем на рис. 2		$R_ш$, *ком* (и тип сопротивления)
		$U_д$, *в*	$I_д$, *ма*	$U_д$, *в*	$I_д$, *ма*	
Д303	50 70	35 15	1 200 750	70 30	2 500 1 500	12—15 (ВС-0,5) 10—15 (ВС-0,25)
Д304	50 70	30 12	1 500 1 000	60 25	3 000 2 000	10—15 (ВС-0,5) 10—15 (ВС-0,25)
Д305	50 70	15 12	3 200 1 500	30 25	6 500 3 000	10—15 (ВС-0,25) 10—15 (ВС-0,25)

* В скобках указаны предельно допустимые токи $I_д$ при работе диодов без теплоотвода.

Таблица 4

Предельно допустимые режимы работы выпрямителей, содержащих по одному точечному диоду в плече

Тип диода	$t_{макс}$, °C	Для схем на рис 1, 3 и 4		Для схем на рис. 2	
		$U_д$, *в*	$I_д$, *ма*	$U_д$, *в*	$I_д$, *ма*
Д1В	50	9	2	18	4
Д1Г	50	15	2	30	4
Д1Ж	50	30	1	60	2
Д2Б	70	9	3	18	6
Д2В	70	12	3	24	6
Д2Г	70	15	2	30	4
Д2Д	70	15	3	30	6
Д2Е	50 70	30 22	3 3	60 44	6 6
Д2Ж	50 70	45 33	1 1	90 66	2 2
Д2И	50 70	30 22	3 3	60 44	6 6

Тип диода	$t_{макс}$, °C	Для схем на рис. 1, 3 и 4		Для схем на рис. 2	
		$U_д$, *в*	$I_д$, *ма*	$U_д$, *в*	$I_д$, *ма*
Д9В	50 70	9 6	3 3	18 12	6 6
Д9Г, Д9И	50 70	9 6	6 6	18 12	12 12
Д9Д, Д9К	50 70	9 6	7 7	18 12	14 14
Д9Е	50 70	15 9	5 5	30 18	10 10
Д9Ж, Д9Л	50 70	27 16	3 3	54 32	6 6
Д11	50 70	9 5	10 10	18 10	20 20
Д12	50 70	15 9	6 6	30 18	12 12
Д12А	50 70	15 9	10 10	30 18	20 20
Д13	50 70	22 13	10 10	45 26	20 20
Д14	50 70	30 18	6 6	60 36	12 12
Д14А	50 70	30 18	10 10	60 36	20 20
ДГ-Ц1, ДГ-Ц2	50	15	2	30	4
ДГ-Ц6	50	30	2	60	4
ДГ-Ц7	50	30	1	60	2
ДГ-Ц8	50	9	3	18	6
ДГ-Ц12	50	9	2	18	4
ДГ-Ц14	50	15	1	30	1

Допустимо включать последовательно в плечо диоды разных групп, но одного типа (конструктивного оформления) с одинаковым $I_д$. При этом сумма напряжений $U_д$ всех диодов должна быть не меньше напряжения U_{II}. Например, в однополупериодном выпрямителе при $U_{II}=120$ *в* можно использовать два последовательно соединенных диода: диод Д7Д, для которого $U_д=55$ *в*, и Д7Ж, для которого $U_д=65$ *в*.

8. Величины шунтирующих сопротивлений $R_ш$, когда $n>1$, находим по табл. 3.

9. Определяем I_{II} по формуле (5).

10. Расчет трансформатора или автотрансформатора питания, а также расчет сглаживающего фильтра можно произвести по соответствующим справочникам.

Номинальное напряжение конденсатора $C_ф$ в схемах на рис. 1, 2 и 4 должно быть таким же, как и конденсатора C_0, а в схеме на рис. 3 оно должно быть в 1,2 раза больше $U_н$. Так как пульсация напряжения на конденсаторе $C_ф$ мала, при выборе его емкости переменную составляющую можно не учитывать, т. е. расчет по формуле (7) не производить.

После того как будет закончен расчет фильтра и станет известным истинное сопротивление дросселя постоянному току $r_ф$, может понадобиться произвести уточнение расчета величины напряжения U_{II}. Величину напряжения $U_н$ можно также подогнать под нужное значение, изменяя величину сопротивления $R_б$.

Второй вариант расчета. Требуется рассчитать выпрямитель при заданном переменном напряжении U_{II} и с диодами имеющегося типа, т. е. определить выпрямленное напряжение U_0 и выпрямленный ток I_0.

1. Наибольший выпрямленный ток $I_д$, который можно получить с диодами данного типа и буквенной группы, а также $U_д$ для них находим по табл. 3 или 4.

Если расчет производится под имеющийся трансформатор (автотрансформатор) питания, для которого регламентирован максимальный ток вторичной обмотки (выходной ток) I_{II}, то по формуле (6) вычисляем величину I_0. Когда последняя меньше величины $I_д$, найденной по табл. 3 или 4, тогда принимаем величину, вычисленную по формуле (6). В противном случае принимаем $I_0=I_д$.

2. По формуле (2) или по нагрузочным характеристикам (рис. 5—8) определяем напряжение U_0.

3. Определяем номинальное напряжение U_C и емкость конденсатора C_0, а также коэффициент пульсации, как указано в пп. 3—6 первого варианта расчета. Если величина U_0 определена по нагрузочной характеристике, то по формуле (7) следует проверить достаточность емкости C_0, относящейся к данной характеристике. Если же в результате вычисления получится бо́льшая емкость, то нужно взять ближайшую стандартную бо́льшую номинальную емкость и найти для нее по соответствующей нагрузочной характеристике новое значение напряжения U_0.

4. Если $U_д<U_{II}$, то по формуле (10) определяем необходимое число диодов n в каждом плече схемы с округлением результата до ближайшего большего целого числа. При $n>1$ по табл. 3 находим величины шунтирующих сопротивлений $R_ш$.

5. Когда нужно получить $U_н$ заданной величины (конечно, меньшей, чем U_0), тогда по формуле (13) вычисляем сопротивление

фильтра постоянному току $r_ф$. Если имеется готовый дроссель с сопротивлением обмотки $r_ф$, то определяем $U_н$ по формуле (12).

Параллельное включение диодов. Если от выпрямителя нужно получить ток I_0 большей величины, чем ток $I_д$ имеющихся в распоряжении конструктора плоскостных диодов, то их можно включить по две штуки в каждое плечо параллельно. При этом необходимо принять меры к тому, чтобы токи по возможности равномерно распределились между параллельно включенными диодами. Для этого последовательно с каждым из диодов включают сопротивление $R_б$.

Когда $I_0=1{,}5I_д$, при использовании диодов Д7А — Д7Ж или Д202 — Д211 последовательные сопротивления должны быть по 5 *ом*; если же от выпрямителя с диодами Д202 — Д211 нужно иметь $I_0=2I_д$, то включают сопротивления по 8 *ом*. Если диоды включить параллельно без индивидуальных сопротивлений, то через диод с меньшим прямым сопротивлением может пойти чрезмерно большой ток; диод перегреется и выйдет из строя.

Зарядка аккумуляторов. При расчете полупроводникового выпрямителя для зарядки аккумуляторов необходимо учитывать, что подводимое переменное напряжение $U_д$ и выпрямленный ток $I_д$ при использовании схем на рис. 1 и 2 не должны превышать величин, указанных в табл. 3 При этом за ненадобностью из схем исключаются сглаживающие фильтры (конденсаторы C_0, $C_ф$, дроссель $L_ф$). Аккумулятор включается на место конденсатора C_0. Подводимое напряжение должно регулироваться с таким расчетом, чтобы на выходе нагруженного выпрямителя можно было получить напряжение, превышающее напряжение аккумулятора в конце его заряда. Для этого сопротивление $R_б$ можно сделать переменным.

Работа на активную или индуктивную нагрузку. При работе однополупериодного выпрямителя (рис. 1) на активную или индуктивную нагрузку, например на сопротивление или на обмотку реле (конденсаторы C_0 и $C_ф$ в схеме отсутствуют), выпрямленный ток и подводимое напряжение могут быть вдвое больше указанных в табл. 3 и 4 для соответствующих диодов. Если сопротивление $R_б$ мало, то $U_0=(0{,}42\div0{,}45)U_{II}$.

В случае работы на такую же нагрузку выпрямителя по мостовой схеме (рис. 2) от него можно при тех же диодах получить вдвое больший выпрямленный ток, но подводимое напряжение по сравнению с величинами, указанными в табл. 3 и 4, увеличивать нельзя. Для этого случая $U_0\approx0{,}9U_{II}$.

Пример расчета 1. Рассчитать выпрямитель по схеме с удвоением напряжения (рис. 3) со следующими данными: $U_н=250$ *в*, $I_0=65$ *ма*, $p_0\leqslant10\%$, $r_ф=300$ *ом*, $t_{макс}<50°$ С, конденсаторы КЭ-2-Н. Выдать величины U_{II} и I_{II}, необходимые для расчета автотрансформатора питания этого выпрямителя.

1. По формуле (11)

$$U_0=250+\frac{300\cdot65}{1\,000}\approx270\ в.$$

2. По формуле (1) для схемы с удвоением напряжения

$$U_{II}=0{,}4\cdot270\approx110\ в.$$

3. По формуле (4)

$$U_C=1{,}41\cdot110\approx155\ в$$

Выбираем стандартное номинальное напряжение $U_C = 300$ *в*.

4. Согласно табл. 2 для $U_C = 300$ *в* наибольшее значение $p_{50} = 10\%$. Подставляя известные нам величины I_0, U_C и p_{50} в формулу (7), находим, что

$$C_0 = 900 \cdot \frac{65}{300 \cdot 10} \approx 20 \text{ мкф}.$$

По формуле (8)

$$C_0 = 650 \cdot \frac{65}{270 \cdot 10} \approx 15{,}6 \text{ мкф}.$$

Принимаем $C_0 = 20$ *мкф*. Для такой емкости при $U_C = 300$ *в* величина p_{50} не отличается от ранее выбранной.

5. Согласно табл. 3 для проектируемого выпрямителя пригоден любой из диодов серии Д7 ($I_д = 150$ *ма* $> I_0 = 65$ *ма*). Если выбрать диоды Д7Д, то по формуле (10)

$$n = \frac{110}{55} = 2.$$

6. Согласно той же табл. 3 $R_ш = 47—56$ *ком* (тип ВС-0,25)

7. По формуле (5)

$$I_{II} = 3{,}6 \cdot 65 = 234 \text{ ма},$$

т. е. автотрансформатор должен быть рассчитан на $U_{II} = 110$ *в* и $I_{II} = 234$ *ма* $\approx 0{,}24$ *а*.

В построенном по данному расчету выпрямителе подбором величины сопротивления $R_б$ была установлена требуемая величина $U_н = 250$ *в* при $I_0 = 65$ *ма*.

Пример расчета 2. Рассчитать бестрансформаторный однополупериодный выпрямитель со следующими данными: напряжение электросети $U_{II} = 220$ *в*, $U_н = 250$ *в*; $I_0 = 100$ *ма*, $p_0 \leqslant 15\%$, $t_{макс} \leqslant 50°$ С, диоды Д7Д, конденсаторы КЭ-2-Н.

Для диодов Д7Д в однополупериодной схеме (см. табл. 3) $U_д = 55$ *в* и $I_д = 150$ *ма*, т. е. они будут работать с недогрузкой по току.

1. Вычисляем по формуле (2) напряжение U_{II}, взяв среднее значение численного коэффициента 1,2,

$$U_{II} = 1{,}2 \cdot 220 = 264 \text{ в}.$$

2. По формуле (4) рабочее напряжение конденсатора должно быть не менее

$$U_C = 1{,}41 \cdot 220 \approx 310 \text{ в}.$$

Принимаем стандартное номинальное напряжение $U_C = 450$ *в*.

3. Из табл. 2 для $U_C = 450$ *в* берем наибольшее значение $p_{50} = 10\%$ и по формуле (7) находим, что

$$C_0 = 900 \cdot \frac{100}{450 \cdot 10} = 20 \text{ мкф}.$$

Для емкости 20 *мкф* при $U_C = 450$ *в* величина p_{50} соответствует ранее выбранной.

4. По формуле (8)

$$C_0 = 750 \cdot \frac{100}{264 \cdot 15} \approx 19 \text{ мкф},$$

т. е. выбранная емкость $C_0=20$ *мкф* обеспечит коэффициент пульсации менее заданного.

Из рис. 5 видно, что при $U_{II}=220$ *в*, $C_0=20$ *мкф*, $R_б=3{,}9$ *ом* и $I_0=100$ *ма* мы имеем $U_0=267$ *в*, т. е. по формуле (2) была получена достаточно точная величина U_0.

5. Расчетный коэффициент пульсации напряжения на входе сглаживающего фильтра по формуле (9)

$$p_0 = 750 \cdot \frac{100}{267 \cdot 20} \approx 14\%,$$

т. е. меньше заданного (15%).

6. По формуле (10)

$$n = \frac{220}{55} = 4.$$

7. Шунтирующие сопротивления $R_ш$ выбираем по 56 *ком* типа ВС-0,25 (табл. 3).

8. Чтобы получить $U_н=250$ *в*, согласно формуле (13) фильтр должен иметь сопротивление постоянному току

$$r_ф = \frac{1\,000\,(267 - 250)}{100} \approx 150 \text{ ом}.$$

Пример расчета 3. Рассчитать выпрямитель с данными примера 2, но на ток $I_0=120$ *ма*.

Так как I_0 больше, чем в предыдущем примере, то, очевидно, потребуется большая емкость C_0, для которой p_{50} будет соответственно меньше. Принимаем $p_{50}=6\%$.

1. По формуле (7)

$$C_0 = 900 \cdot \frac{120}{450 \cdot 6} = 40 \text{ мкф}.$$

По формуле (8)

$$C_0 = 750 \cdot \frac{120}{267 \cdot 15} \approx 22{,}5 \text{ мкф}.$$

Принимаем $C_0=40$ *мкф*. Для конденсатора такой емкости p_{50} соответствует предварительно выбранному.

2. Расчетный коэффициент пульсации по формуле (9)

$$p_0 = 750 \cdot \frac{120}{267 \cdot 40} \approx 8{,}5\%.$$

3. Как и в предыдущем примере, $n=4$ и $R_ш=56$ *ком*, тип ВС-0,25.

МОНТАЖ ДИОДОВ

Монтаж диодов в выпрямителях следует производить, учитывая, что положительный полюс выпрямленного напряжения в любой схеме получается:

у плоскостных диодов, перечисленных в табл. 3, на выводе, соединенном с корпусом;

у точечных диодов серии Д9 на выводе, противоположном выводу с красной меткой;

у точечных диодов Д11 и Д14А на выводе с черной меткой;

у точечных диодов серий ДГ-Ц1 — ДГ-Ц14 на выводе, противоположном выводу, около которого на корпусе стоит знак +.

Если положительный полюс выпрямителя на плоскостных диодах согласно схеме заземляться не должен, то корпусы этих диодов следует надежно изолировать от металлического шасси.

Диоды Д202 — Д205 и Д303 — Д305 нужно обязательно монтировать на металлическом шасси размерами не менее указанных в табл. 5. Шасси при этом отводит от диодов и рассеивает выделяемое ими тепло, т. е. шасси играет роль теплоотвода.

Таблица 5

Минимальные размеры теплоотводов

Тип диода	*S, см²*	*d, мм*	*b, мм*
Д202—Д205	40	75	1
Д303	30	60	3
Д304	50	80	3
Д305	200	155	3

Диоды изолируют от шасси с помощью слюдяных прокладок и пластмассовых втулок, которыми комплектуются диоды заводами-изготовителями. Для лучшего рассеяния тепла плоскость шасси, на котором монтируют диоды, нужно располагать вертикально и покрывать шасси черной краской.

Диоды остальных типов, перечисленные в табл. 3 и 4, достаточно хорошо охлаждаются, если их монтировать в подвешенном состоянии.

Германиевые диоды и конденсаторы надо располагать возможно дальше от нагревающихся частей аппаратуры.

Цена 06 коп.